**TEMA:** Pérdidas secundarias de energía

**OBJETIVOS:**

* Razonar la metodología de cálculo de pérdidas de energía en accesorios.
* Comparar estas pérdidas con las pérdidas primarias.
* Formar criterios de selección de válvulas y accesorios.

**RESUMEN TEÓRICO**

Las pérdidas menores, o secundarias, o singularidades, se deben a cambios en la magnitud, en la dirección y en el sentido de flujo, así como también a conexiones de entrada, de salida o entre dos tuberías o ductos. Cada accesorio, llámese válvula, codo, te, unión reductora, expansión, etc, tiene una metodología de cálculo particular de su coeficiente de resistencia, o de pérdida, *K*. Este coeficiente, es el que se reemplaza en la ecuación de pérdidas de energía, afín a la ecuación de Darcy – Weisbach. Así:

hL = (f L *u*2) / (2 g D) Pérdidas Mayores

hL = ***K*** (*u*2 / 2 g) Pérdidas Menores

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las fórmulas y/o valores, relacionados con los distintos accesorios:

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo de singularidad** | **K** |
| Válvulas, codos, tees | ft (Le/D) |
| Entrada proyectada | 1 |
| Entrada recta | 0,5 |
| Entrada muy suave | 0,05 |
| Salida de una tubería | 1 |
| Ensanchamiento brusco | (1-(D1/D2)2)2 |
| Reducción brusca de sección (Contracción) | 0,5(1-(D1/D2)2)2 |

**Procedimiento de cálculo del fT**

Recordando que el *fT* es el coeficiente de fricción en flujo completamente turbulento (o en zona de turbulencia completa), éste valor corresponde al mínimo valor del *f*, que se da a altos valores de Reynolds, cuando la curva se vuelve una recta horizontal, y el ***f*** sólo depende del ** (de la rugosidad relativa).

1. Si se trata de válvulas, codos y tes conectados a tubería de acero de cédula 40, sólo se mira en la tabla 2, abajo (Tomada del Mott), dependiendo del diámetro de la tubería a la que esté conectado el accesorio.
2. Si se trata de otros tipos de tuberías, de diferente cédula o de otros materiales, es necesario usar el diagrama de Moody, donde se mira el valor del ** y se va directamente al eje *f*. También se puede usar la ecuación de Swamee y Jain, sin la parte del Reynolds, así:

**Tabla 2: Valores de fT para accesorios conectados a tubería de acero**

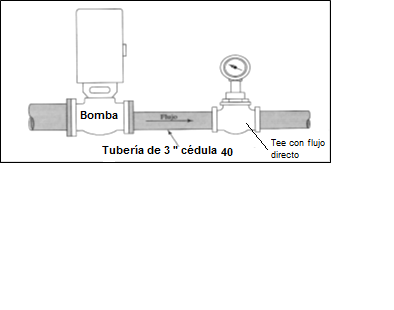
|  |  |
| --- | --- |
| **Diámetro de tubería** | **fT** |
| **½** | **0,027** |
| **3/4** | **0,025** |
| **1** | **0,023** |
| **1 1/4** | **0,022** |
| **1 1/2** | **0,021** |
| **2** | **0,019** |
| **2 ½, 3** | **0,018** |
| **3 ½, 4** | **0,017** |
| **5** | **0,016** |
| **6** | **0,015** |
| **8 - 10** | **0,014** |
| **12 - 16** | **0,013** |
| **18 -24** | **0,012** |

**Tabla 3: Relación Le/D para algunos accesorios**

|  |  |
| --- | --- |
| **Accesorio** | **Le/D** |
| **Válvula de globo** | **340** |
| **Válvula de ángulo** | **150** |
| **Válvula de compuerta c.a.** | **8** |
| **Válvula de compuerta abierta** | **900** |
| **Válvula de verificación tipo giratorio** | **1000** |
| **Válvula de verificación tipo bola** | **150** |
| **Válvula de mariposa abierta por completo, 2 a 8 pulgadas** | **45** |
| **Válvula de mariposa abierta por completo, 10 a 14 pulgadas** | **35** |
| **Válvula de mariposa abierta por completo, 16 a 24 pulgadas** | **25** |
| **Codo estándar a 90°** | **30** |
| **Codo radio largo a 90°** | **20** |
| **Codo roscado a 90°** | **50** |
| **Codo roscado a 45°** | **26** |
| **Te con flujo directo** | **20** |
| **Te con flujo en el ramal** | **60** |

**Ejercicios resueltos**

*1. Un sistema de tubería para una bomba contiene una te, como se aprecia en la figura, con el fin de permitir la medición de la presión en la salida de la bomba. Sin embargo, no existe flujo en la línea que lleva al instrumento. Calcule la pérdida conforme circulan 0,40 pie3 /s de agua a 50ºF a través de la te.*

**

Solución:

1. Como siempre, si no nos dan la velocidad, la debemos hallar.

Tenemos **Q** pero no **A**. En este caso debemos ir a la tabla **F1** (Apéndice) de propiedades de tuberías de acero, cédula 40. Para un diámetro nominal de 3 pulgadas, según la figura, el **área** que da la tabla es **0,05132 pie2**. Entonces la velocidad nos da:

1. En la **Tabla 10-4** del Mott, leemos **Le/D** para una ***te estándar con flujo directo***, porque según la gráfica vemos que es de esta clase de te. Su valor es: **20**.
2. Ahora, si la tubería es de acero nueva y limpia\*, vamos a la **Tabla 10-5** y leemos el ***fT***respectivopara una tubería de 3 pulgadas de diámetro nominal, que es **0,0018**.
3. Calculamos el coeficiente de pérdidas, ***K***, por la ecuación:

= 0,0018 \* 20 = 0,36

1. Calculamos ***hL*,** así:

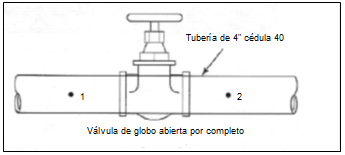
= 0,36 \* ((7,79pie/s)2/62,4 pie2/s2) = 0,35 pie

1. O también se puede calcular directamente por la ecuación de Darcy – Weisbach modificada, así:

= 0,018\*20\*((7,79 pie/s)2/62,4 pie2/s2) = 0,35 pie

**RESPUESTA:**

1. *Calcule la caída de presión a través de una válvula de globo abierta por completo, situada en una tubería de acero de 4 pulgadas, cédula 40, por donde el caudal de agua es 400 gpm.*



Se supone que la tubería es horizontal y que el diámetro no cambia. Entonces, de la ecuación de energía, quedaría:

Se sabe que:

Donde,

Reemplazando los valores de las tablas 2 y 3:

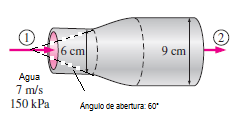
Por tablas de acero, el área de flujo para una tubería de 4 pulgadas nominales, es: 0,0884 pie2

La velocidad, se calcula como siempre: = 10,08 pie/s

Entonces,

**Respuesta**: En este caso se pierden 3,95 psig de presión en la válvula de globo, debido al alto coeficiente de pérdidas. Sin embargo, esta válvula es de las más usadas por su bajo costo.

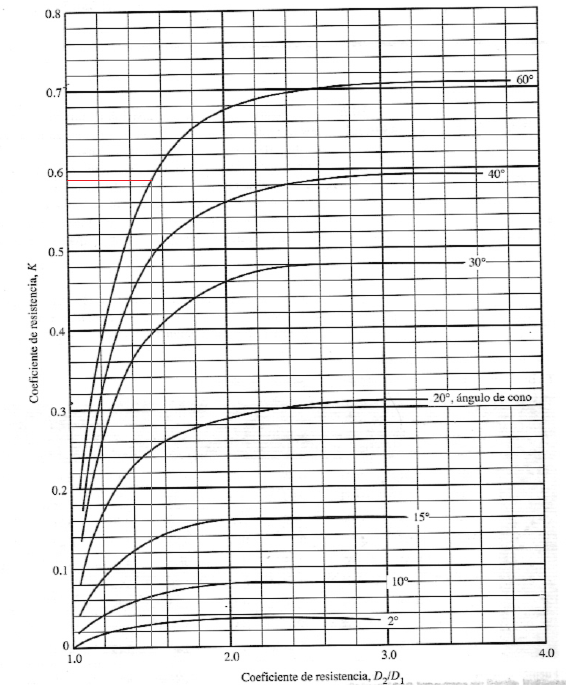
*3. Una tubería horizontal de 6 cm de diámetro interno, se expande gradualmente a 9 cm de diámetro interior. Las paredes de la expansión tienen un ángulo de 30° con respecto a la horizontal. La velocidad promedio del agua antes de la expansión es de 7 m/s y su presión manométrica es 150 kPa. Calcule la pérdida de energía en esa expansión y la presión que tendrá el agua en la sección de mayor diámetro, luego de la expansión.*

****

**Solución:**

Partiendo de la base de que el flujo es estacionario (ya no cambia con el tiempo ni la velocidad ni la presión), y que el flujo en la sección 2 es totalmente turbulento, debido a la expansión, entonces el procedimiento es similar a lo que se ha venido analizando, pero teniendo en cuenta que este accesorio requiere otra metodología específica para el cálculo del ***K***, porque depende de la relación de diámetros y del ángulo.

Se usa la siguiente gráfica, sabiendo que la relación de diámetros del mayor al menor es 9/6 = 1,5 y que el ángulo total de abertura de la expansión es 2\*30° = 60°, entonces:



También se habría podido hacer con la Tabla 10.2 del Mott, interpolando (D2/D1) entre 1,4 y 1,6. Entonces, según la gráfica, K = 0,585; así que: quedaría:

Para la presión a la salida de la expansión se emplea la ecuación de energía entre las dos secciones.

Reemplazando los valores, queda así:

Donde la velocidad en la sección 2, se calcula con la ecuación de continuidad, en la que sustituyendo los valores da:

Entonces, volviendo a la ecuación de energía, pero ahora despejando la presión en la sección 2:

**Respuesta y análisis:** Aquí la pérdida dio alta: 1,46 m a pesar de ser supuestamente, una pérdida menor. Esto se debió principalmente al alto valor de K, por el ángulo tan alto. No tanto por la velocidad, ni por la relación de diámetros. Por otra parte, aunque se ha establecido que el flujo va de mayor a menor presión, en ocasiones, como esta, puede ser que aumente la presión, así sea horizontal la tubería, porque la energía de un fluido se debe a tres cargas: la cinemática, la estática y la de presión. En este caso particular, aumenta la carga de presión debido a que la carga de velocidad, o cinemática, disminuye (la velocidad 2 es menor a la mitad de la velocidad 1). Y disminuye la velocidad debido al aumento de área de la tubería.

*4. Se va a obtener un flujo de agua a partir de un reservorio que está ubicado a 3 m de altura, por medio de un hueco en la base del reservorio, que tiene 1,5 cm de diámetro, por donde se va a conectar la tubería de suministro. Determine cuál será el caudal ideal, luego el caudal si la conexión de entrada de la tubería al hueco del tanque se hace proyectada hacia dentro del tanque; y, finalmente, si esa conexión es bien redondeada. Analice qué ocurre y concluya.*

**Solución:** Primero la parte ideal, es decir: Sin pérdidas. Esto es por Bernoulli, obteniendo la ecuación de Torricelli, y luego esa velocidad se multiplica por el área del hueco que corresponderá al área transversal de la tubería, para hallar el caudal o flujo volumétrico.

Ahora, para los dos casos siguientes, la ecuación es la misma:

En ambos también se usa la misma ecuación para el *hL*:

Pero, lo que cambia es el ***K***:

* Entrada proyectada, ***K*** = 1;
* E. bien redondeada, ***K*** = 0,04; = 0,002

Lo que sigue ahora es reemplazar estas fórmulas en la ecuación de energía, simplificando términos; y de ahí despejar la velocidad al cuadrado.

* Entrada proyectada:

O sea que: Entonces,

* Entrada bien redondeada:

**Análisis y conclusiones:**

En definitiva el máximo caudal es el ideal, porque no considera pérdidas en la entrada del tanque a la tubería (o viceversa). En donde más pérdidas se presentan, y por consiguiente menos caudal se obtendrá, es en la situación en la que se usa conexión proyectada. Y, en cambio, cuando la conexión es bien redondeada, se disminuyen tanto las pérdidas que el caudal obtenido es bastante cercano al ideal, siendo el “error” (o el porcentaje de la diferencia absoluta): 1,85%.

*5. Preguntas teóricas:*

1. *¿Qué accesorio presenta mayor pérdida secundaria. Una expansión o una contracción gradual?*

***Rta****: Una expansión presenta mayor K que una contracción, así sea gradual. Sin embargo, en una expansión la presión del fluido se incrementa, porque la velocidad se hace menor.*

1. *En un sistema de flujo, que tiene varios codos a 90° estándar además de tubería, ¿Qué formas hay de reducir las pérdidas de energía?*

***Rta****: Una forma es cambiar los codos estándar por codo de radio largo, que tienen menor Le/D (20 vs 30). Otra: emplear un diámetro un poco mayor de tubería (si fuese posible). Otra: emplear tubería menos rugosa (también si fuese posible). Y finalmente: acortar la longitud total de la tubería (si fuese posible, de nuevo).*

1. *Obtenga la ecuación del K de una expansión a partir de la ecuación de energía y la ecuación de continuidad. Ver referencias.*

**Bibliografía**

Mott, Capítulo 10.

Cengel, Capítulo 8.

<http://fluidos.eia.edu.co/lhidraulica/guias/perdidaslocalesentuberias/perdidaslocales.html>

http://es.slideshare.net/jesusfbf/flujo-tuberias-cap-3-y-4